

⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Off nlegungsschrift**  
⑩ **DE 195 38 103 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>4</sup>:  
**G 02 B 6/30**

⑰ Aktenzeichen: 195 38 103.3  
⑱ Anmeldetag: 13. 10. 85  
⑲ Offenlegungstag: 17. 4. 97

**DE 195 38 103 A 1**

⑦ **Anmelder:**

Robert Bosch GmbH, 70489 Stuttgart, DE

⑫ **Erfinder:**

Kummer, Nils, Dipl.-Ing. (FH), 71842 Ludwigsburg,  
DE; Mueller-Fiedler, Roland, Dipl.-Phys. Dr., 71229  
Leonberg, DE; Breitschwerdt, Klaus, 70784  
Filderstadt, DE; Gundlach, Michael, Dipl.-Phys.,  
71678 Asperg, DE

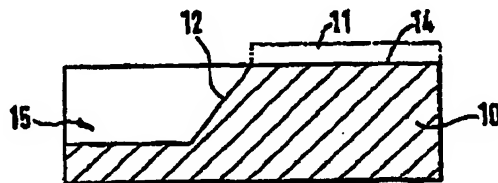
⑮ **Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:**

DE 43 09 279 A1  
DE 42 12 208 A1  
US 51 75 781

JP Patents Abstracts of Japan: 1-123608  
A., P. 920, Aug. 17, 1989, Vol. 13, No. 370;  
83-115113 A., P. 764, Sep. 29, 1989, Vol. 12, No. 383;  
1-107219 A., P. 911, Aug. 7, 1989, Vol. 13, No. 349;

⑤ **Verfahren zum Herstellen einer Lichtwellenleiter-Glasfaser-Koppelstelle auf einem integriert optischen Bauelement**

⑤ Vorge schlagen wird ein Verfahren zum Herstellen einer Lichtwellenleiter-Glasfaser-Koppelstelle auf einem optischen Bauelement, welches für eine definierte Lagerung der Glasfaser eine Grabenstruktur aufweist. Verfahrensgemäß werden auf dem Bauelement zunächst die Grabenstruktur (15) sowie eine mit der Glasfaser zu koppelnde Lichtwellenleiterstruktur (11) angelegt. Anschließend wird an der Koppelstelle zwischen Grabenstruktur (15) und Lichtwellenleiterstruktur (11) senkrecht zu ihren Erstreckungsrichtungen ein Sägeschnitt (25) eingebracht, mit dem die Endfläche (12) der Grabenstruktur (15) vollständig entfernt wird.



**DE 195 38 103 A 1**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 02. 97 702 018/284

7/22

## DE 195 38 103 A1

1

## Beschreibung

## Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren nach der Gattung des Hauptanspruchs. Integriert optische Bauelemente wie Modulatoren, Richtkoppler, Schalter, Polarisatoren, oder Verteiler spielen in der optischen Nachrichtentechnik eine wichtige Rolle. Eine Schwierigkeit bei der Anwendung solcher Bauelemente bildet die Verbindung mit der Außenwelt durch Ankopplung von Glasfasern. Der Lichteinkoppelwirkungsgrad bei der Kopplung von Glasfasern und integrierten Lichtwellenleitern hängt entscheidend vom Abstand der Endflächen sowie den Winkeln zwischen den optischen Achsen ab. In Bezug auf ein Bauelement weist die Lage einer Glasfaser grundsätzlich fünf Freiheitsgrade auf, die unabhängig voneinander optimiert werden müssen: Ein axialer Freiheitsgrad, zwei laterale Freiheitsgrade sowie zwei Winkelfreiheitsgrade. Bei einem bekannten Verfahren zur Herstellung einer Glasfaser-Lichtwellenleiterkopplung wird die Glasfaser mit Hilfe von Mikropositioniereinrichtungen relativ zu dem Lichtwellenleiter in der Weise bewegt, daß die eingekoppelte Lichtleistung optimal wird. Bei maximalem Koppelwirkungsgrad wird die Glasfaser fixiert, zum Beispiel durch Kleben. Wegen des erforderlichen Zeitaufwandes ist dieses Verfahren jedoch insbesondere für die Justierung eines Glasfaserarrays mit einer Vielzahl von Einzelfasern nicht geeignet.

Aus der Zeitschrift "Applied optics", 1978, VL.17, No. 6, Seiten 895 bis 898 ist ein Verfahren zur Ankopplung einer Glasfaser an eine auf einem Siliciumsubstrat angeordnete Lichtwellenleiterstruktur bekannt, bei dem die Glasfasern durch in das Siliciumsubstrat eingebrachte V-Gräben mit dreieckigem Querschnitt eine seitliche Führung erhalten. Als Substratmaterial werden Siliciumwafer mit (100)-Oberflächenorientierung verwendet. Mit Hilfe rechteckförmiger Öffnungen in einer Deckschicht aus Siliciumnitrid oder Siliciumdioxid, deren Kanten entlang der (110)-Richtungen ausgerichtet sind, werden in einem alkalischen Ätzmedium V-Gräben mit hoher Genauigkeit hergestellt. Die dabei entstehenden V-Gräben werden allseitig von langsam ätzenden (111)-Ebenen begrenzt, die einen Winkel von  $54,7^\circ$  zur Waferoberfläche einschließen. Unter diesem Winkel wird auch die Endfläche der V-Gräben geneigt. Um eine formschlüssige Kopplung zwischen Glasfaser und integrierter Lichtwellenleiterstruktur zu ermöglichen, schlägt die Schrift vor, die Endflächen der Glasfasern, abgestimmt auf die Endflächen der V-Gräben, ebenfalls mit um  $54,7^\circ$  geneigten Endflächen zu versehen. Ein solches Vorgehen bedingt allerdings eine aufwendige Bearbeitung der Glasfaserendflächen sowie eine aufwendige Endmontage, da die Glasfaser in einer vorbestimmten Lage in die V-Grabenstruktur einzulegen ist. Bei der Herstellung der Kopplung besteht darüberhinaus die Gefahr, daß die beiden Endflächen übereinander gleiten und die Glasfaser über die Lichtwellenleiterstruktur hinausgeschoben wird. Eine weitere Erschwerung der Herstellung ergibt sich daraus, daß auch die an die Glasfasern angrenzenden Flächen der Lichtwellenleiterstruktur mit einer um  $54,7^\circ$  geneigten Endfläche zu versehen sind.

Aus der WO 93/12550 ist ein auf der Technik des Abformens beruhendes Verfahren zur Herstellung von optischen Bauelementen mit Glasfaserkoppelmöglich-

2

keit bekannt, welches eine zu der optischen Achse der Glasfaser senkrechte Stoßfläche an der Koppelstelle liefert. Dabei werden auf einem Siliciumsubstrat Faserführungsstrukturen in Form von V-Gräben sowie Lichtwellenleiterstrukturen angelegt. Im Endbereich der V-Gräben wird ein Polymermaterial derart eingebracht, daß eine zur Achse der V-Gräben senkrechte Stoßfläche entsteht. Von dem Siliciumsubstrat wird anschließend durch Abformen eine Negativform hergestellt, von dieser sodann eine Vielzahl von mit der Masterstruktur identischen Tochterstrukturen. Das Verfahren ist hinsichtlich der Erzeugung der senkrechten Stoßflächen in den V-Gräben mit Hilfe eines Polymermaterials ebenfalls recht aufwendig. Es eignet sich zudem nur zur Herstellung von Bauelementen aus abformbarem Material, nicht aber zur Herstellung von Bauelementen auf Siliciumbasis.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren anzugeben, das in möglichst wenigen Fertigungsschritten die Herstellung einer Lichtwellenleiter-Glasfaser-Koppelstelle mit senkrechter Stoßfläche erlaubt.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs. Das erfindungsgemäße Verfahren ist einfach in seiner Durchführung und für eine Vielzahl von Materialien, darunter insbesondere Silicium geeignet. Es liefert ohne aufwendige Bearbeitung der Endfläche der Glasfasern eine selbstjustierende Kopplung mit hohem Kopplungswirkungsgrad.

Ferner bietet es den Vorteil, daß das Substratmaterial nicht resistent gegen ein etwa zur Erzeugung von Faserführungsstrukturen eingesetztes Ätzmedium sein muß.

Unter Bezugnahme auf die Zeichnung wird das Verfahren nachfolgend näher erläutert.

## Zeichnung

Es zeigen Fig. 1 ein Siliciumsubstrat mit Grabenstruktur, Fig. 2 eine Darstellung der Verfahrensschritte, Fig. 3 ein verfahrensgemäß bearbeitetes Bauelement, Fig. 4 eine Variante eines verfahrensgemäß verarbeiteten Bauelementes.

## Beschreibung

Fig. 1 zeigt ein Substrat 10 aus Silicium, in das eine Grabenstruktur 13 mit dreieckigem Querschnitt eingebracht wurde. Ausgangsmaterial für das dargestellte Substrat 10 bildet ein Siliciumwafer mit (100)-Oberflächenorientierung bezüglich einer Kristallstruktur. Darauf wird eine Deckschicht aus Siliciumnitrid oder Siliciumdioxid mit rechteckigen Öffnungen aufgebracht, deren Kanten entlang der (110)-Richtungen ausgerichtet sind. In einem alkalischen Ätzmedium, zum Beispiel Kaliumhydroxid (KOH), werden nun entsprechend den in der Deckschicht vorhandenen Öffnungen V-förmige Vertiefungen geätzt, welche die Grabenstrukturen 13 bilden. Ihre Seitenflächen 13 sowie ihre Endflächen 12 entsprechen, bezogen auf die Siliciumkristallstruktur, (111)-Ebenen, die mit der Oberfläche 14 des Substrats 10 einen charakteristischen Winkel von  $54,7^\circ$  einschließen. In einem nachfolgenden Bearbeitungsschritt werden auf der Oberfläche 14 des Substrats 10 des weiteren Lichtwellenleiterstrukturen 11 angelegt. Beispielshaft ist ein Lichtwellenleiter 11 angedeutet, an dessen Stirnseite 16 eine in der Grabenstruktur 15 gelagerte Glasfaser angekoppelt werden soll.

Sofern eine Glasfaser mit zur optischen Achse senk-

## DE 195 38 103 A1

3

rechter Endseite verwendet wird, läßt die in Fig. 1 wiedergegebene Anordnung allerdings nur eine schlechte Kopplung zwischen einer in die Grabenstruktur eingelegten Glasfaser und dem Lichtwellenleiter zu. Weil eine solche Glasfaser bedingt durch die schräg abfallende Endfläche 12 der Grabenstruktur 15 nicht bündig mit der Substratoberfläche 14 abschließen kann, verbleibt zwischen Endseite der Glasfaser und Stirnseite 16 des Lichtwellenleiters 11 ein Abstand, der den Kopplungsgrad herabsetzt.

Eine erfindungsgemäße Weiterbehandlung der in Fig. 1 dargestellten Anordnung derart, daß eine Glasfaser-Lichtwellenleiterkoppelstelle mit senkrechter Stoßfläche entsteht, ist in Fig. 2 veranschaulicht. Gezeigt ist jeweils ein Schnitt entlang der Linie I-II durch das in Fig. 1 dargestellte Substrat. Fig. 2a zeigt das Substrat nach Ausbildung der, eine schräge Endfläche 12 aufweisenden Grabenstruktur 15. Mit den Bezugszeichen 11 ist ein in einem nachfolgenden Bearbeitungsschritt an dieser Stelle anzuordnender Lichtwellenleiter angedeutet. Neben der Ausbildung der Grabenstrukturen 15 zur Führung der Glasfasern erfolgen im ersten Bearbeitungsschritt auch die weiteren, zur mikromechanischen Strukturierung des Substrats 10 erforderlichen Materialabtragungen, insbesondere soweit sie durch Ätzen bewirkt werden.

Nach Abschluß der Mikrostrukturierung des Substrats 10 wird im zweiten Bearbeitungsschritt der integriert optische Schichtaufbau angelegt. Auf die Oberfläche 14 des Substrats 10 sowie auf die Seiten- und Endflächen der Grabenstrukturen 15 wird hierfür eine Pufferschicht 17, darauf eine optische Schicht 18, darauf wiederum eine Pufferschicht 19 aufgebracht. Durch einen geeigneten Strukturierungsprozeß, vorzugsweise durch Photolithographie mit nachfolgendem Ätzen der vorbereiteten Strukturen, werden dabei auf der Substratoberfläche 14 die Lichtwellenleiter 11 ausgebildet. Den danach vorliegenden Bearbeitungszustand zeigt Fig. 2b.

Im Bereich B des Überganges von der Substratoberfläche 14 in die Grabenstruktur arbeiten viele Strukturierungsprozesse, darunter die Photolithographie, bedingt durch die Neigung der Endfläche 12 nur eingeschränkt, weshalb in diesem Bereich regelmäßig Fehlerstellen entstehen. Diese sind im Hinblick auf die weitere Bearbeitung jedoch hinnehmbar.

Im Bereich C innerhalb der Grabenstruktur 15 führt der Schichtaufbau 17, 18, 19 entsprechend seiner Dicke D zu einer Anhebung der dort nachfolgend angeordneten Glasfaser um einen Betrag  $\delta h$  gegenüber dem Grabengrund beziehungsweise gegenüber der Substratoberfläche 14, der mit der Dicke D des Schichtaufbaus 17, 18, 19 zusammenhängt gemäß:

$$\delta h = D/\cos 54,7^\circ.$$

Dasselbe gilt für den Schichtaufbau 17, 18, 19 im Bereich A auf der Substratoberfläche 14. Durch gezielte, aufeinander abgestimmte Einstellung der Schichtdicken des Schichtaufbaus 17, 18, 19 auf der Substratoberfläche 14 und innerhalb der Grabenstruktur 15 kann so eine relative Anhebung beziehungsweise relative Absenkung der später in der Grabenstruktur 15 gelagerten Glasfaser 20 gegenüber den Lichtwellenleiterstrukturen 11 auf der Oberfläche 14 des Substrats 10 bewirkt werden.

Im dritten Verfahrensschritt wird im Übergangsbereich zwischen der Substratoberfläche 14 und der Grabenstruktur 15 auf einer Breite B, welche zumindest die

4

vollständige schräge Endfläche 12 der Grabenstruktur 15 sowie jeweils ein angemessenes Stück der Grabenstruktur 15 selbst sowie der Lichtwellenleiterstruktur 11 umfaßt, senkrecht zur Längserstreckung der Grabenstruktur 15 ein Sägeschnitt angebracht. Anstelle des Übergangsbereichs entsteht dadurch ein Graben 25 mit rechteckigem Querschnitt, dessen den späteren Anschlag für die Glasfaser 20 bildende Seitenwand eine senkrechte Stoßfläche 26 bildet. Fig. 2c zeigt den Bearbeitungszustand nach dem dritten Verfahrensschritt.

Das so vorbereitete Bauelement 10 gestattet, wie in Fig. 2d angedeutet, die Anordnung einer Glasfaser 20 derart, daß die Endseite 22 der Glasfaser 20 planparallel an der substratseitigen Stoßfläche 26 anliegt, und das im Kern 21 der Glasfaser 20 geführte Licht somit optimal in die substratsseitige Lichtwellenleiterstruktur 11 eingekoppelt werden kann.

Fig. 3 zeigt eine nach dem vorbeschriebenen Verfahren hergestellte Lichtwellenleiter-Glasfaserkoppelstelle in perspektivischer Ansicht vor dem Einlegen der Glasfaser 20.

Fig. 4 zeigt eine Variante zu der in Fig. 3 dargestellten Koppelstelle, bei der die Lichtwellenleiterstrukturen 11 ebenfalls in einen V-förmigen Querschnitt aufweisenden Grabenstrukturen 27 angeordnet sind. Die V-Grabenstrukturen 27 werden dabei in gleicher Weise hergestellt wie die Grabenstrukturen 15 zur Aufnahme der Glasfasern 20, sind aber schmaler und weisen eine entsprechend geringere Tiefe auf. Die Ausgestaltung von im V-Grabenstrukturen 27 eingebetteten Lichtwellenleiterstrukturen ist beispielsweise in IEEE Photon. Technol. Let. 5, 1993, Seite 46 beschrieben, worauf hier verwiesen wird.

Obgleich es anhand der Bearbeitung eines Substrats aus Silicium beschrieben wurde, ist das vorgeschlagene Verfahren nicht auf dieses Material eingeschränkt. Vielmehr eignet es sich grundsätzlich auch für eine Vielzahl anderer stigmatischer Materialien.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer Lichtwellenleiter-Glasfaser-Koppelstelle auf einem optischen Bauelement, wobei das Bauelement zur Führung der Glasfaser eine Grabenstruktur aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst die Grabenstruktur (15) sowie eine mit einer Glasfaser zu koppelnde Lichtwellenleiterstruktur (11) angelegt und anschließend an der Koppelstelle zwischen beiden — senkrecht zu ihren Erstreckungsrichtungen — ein Sägeschnitt (25) eingebracht wird, der die Endfläche (12) der Grabenstruktur (15) vollständig entfernt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zuerst die Grabenstruktur (15), anschließend die Lichtwellenleiterstruktur (11) angelegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtwellenleiterstruktur (11) aus einer Schichtstruktur (17, 18, 19) heraus gebildet wird, welche zumindest eine Pufferschicht (17), darüber eine optische Schicht (18), darüber eine zweite Pufferschicht (19) aufweist.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Schichtaufbau (17, 18, 19) zur Erzeugung der Lichtwellenleiterstrukturen (11) auch in den Grabenstrukturen (15) angelegt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,

DE 195 38 103 A1

5

6

zeichnet, daß vor Aufbringen des Schichtaufbaus  
(17, 19, 18) eine zweite Grabenstruktur (27) ange-  
legt wird, welche den Verlauf der Lichtwellenleiter  
(11) definiert.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:  
Int. Cl. 6:  
Offenlegungstag:

DE 195 38 103 A1  
G 02 B 6/30  
17. April 1997

FIG. 1

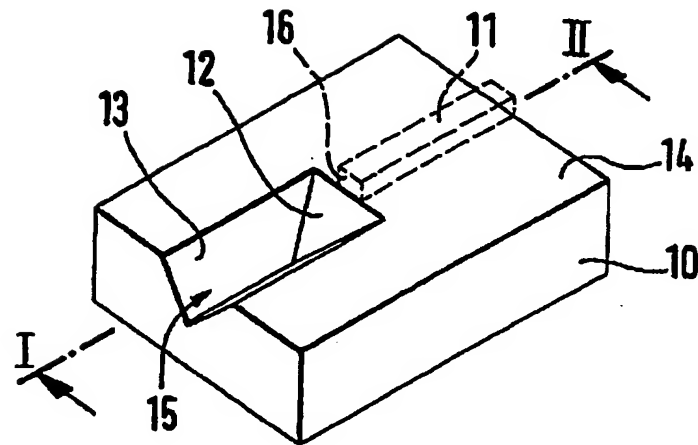


FIG. 3

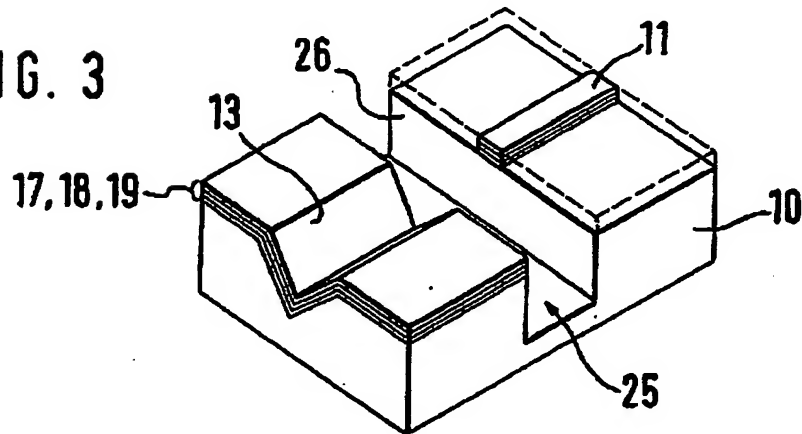
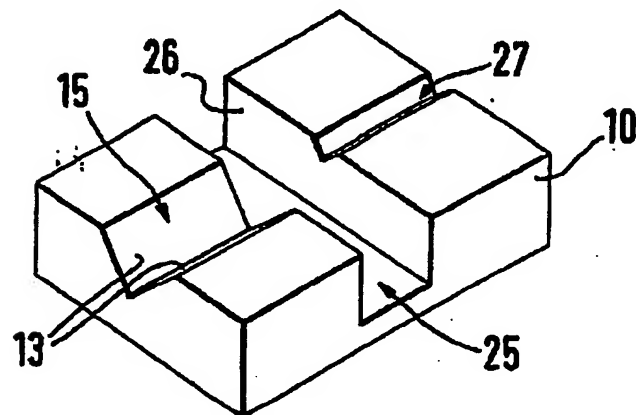


FIG. 4



**ZEICHNUNGEN SEITE 2**

**Nummer:**  
**Int. Cl.®:**  
**Offenlegungstag:**

DE 195 38 103 A1  
G 02 B 6/30  
17. April 1897

FIG. 2a

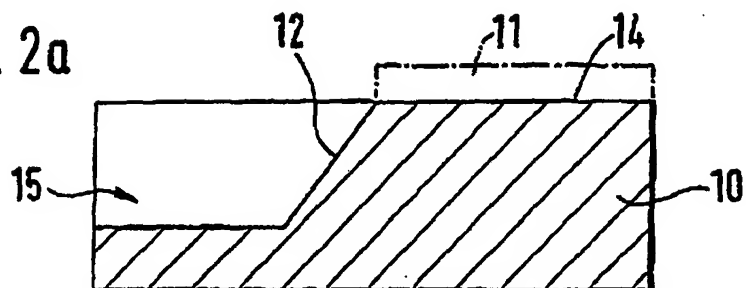


FIG. 2b

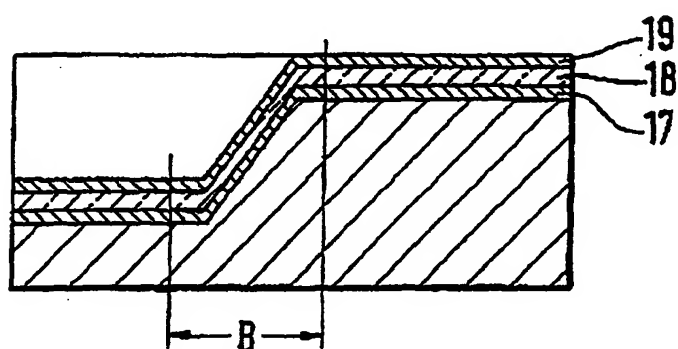


FIG. 2c

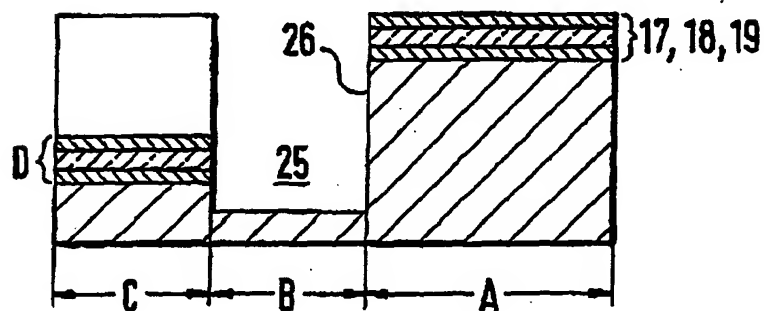


FIG. 2d

